

ESTUDO DO TORNEAMENTO DA LIGA NIMONIC 80A

José Carlos de Faria, faria207@bol.com.br
Elias Alves da Cunha, eliasac@zipmail.com
Bruno de Novaes Friguetto, mcn06052@feg.unesp.br
Marcos Valério Ribeiro, mvalerio@feg.unesp.br

Laboratório de Estudo da Usinagem da Faculdade de Engenharia - UNESP - Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333 CEP 12516-410 – Guaratinguetá/SP – Brasil

Resumo: As ligas a base de níquel têm um papel extremamente importante na indústria automobilística, aeronáutica, marinha, na produção de turbinas a gás e agora também em veículos espaciais, na engenharia de foguetes, aviões experimentais, reatores nucleares e muitas outras aplicações. Sua vasta utilização nestas áreas deve-se principalmente ao seu desempenho em altas temperaturas, que é dado por algumas de suas características intrínsecas, como: alta resistência mecânica em temperatura elevada, à fluência, à fadiga e boa resistência à corrosão. Essas características foram melhoradas consideravelmente, pela adição de uma pequena quantidade de titânio e alumínio em sua composição. A primeira liga a base de níquel nesta concepção foi a Nimonic 80, a qual foi posteriormente modificada para a Nimonic 80A. Portanto, para se assegurar à vida da ferramenta e a integridade da superfície é necessário o controle dos principais parâmetros da usinagem, como escolha correta da ferramenta de corte, método de usinagem, parâmetros de corte, etc. O trabalho proposto busca estudar as propriedades e características da liga Nimonic 80A e que, invariavelmente ao ser processada passará por alguma operação de usinagem, principalmente para a confecção de válvulas. As atividades previstas neste trabalho compreendem a realização de ensaios de usinagem, em torneamento, os quais possibilitarão a visualização dos mecanismos de desgaste atuantes nas ferramentas, e também a identificação das formas dos cavacos produzidos com relação aos parâmetros de corte utilizados. Os testes foram realizados com a ferramenta de metal duro sem cobertura de geometria TNMG 160408-23 ISO S15 com aplicação de fluido de corte de forma abundante, a velocidade de corte utilizada foi de 90 m/min, avanços de 0,12; 0,15 e 0,18 mm/v. e profundidades de usinagem de 0,8 e 1,6 mm.

Palavras-chave: usinagem, nimonic, desgaste, válvulas

1. INTRODUÇÃO

As ligas à base de níquel têm um papel extremamente importante na indústria aeronáutica, automobilística, marinha, na produção de turbinas a gás e agora também em veículos espaciais, na engenharia de foguetes, aviões experimentais, reatores nucleares, plantas movidas a vapor, indústrias petroquímicas e muitas outras aplicações. Sua vasta utilização nestas áreas deve-se principalmente ao seu desempenho em altas temperaturas, que é dado por algumas de suas características intrínsecas, como: alta resistência mecânica em temperaturas elevadas, alta resistência a fluidez, alta resistência a fadiga e boa resistência a corrosão (Ezugwu et.al., 1999; Silva et. al., 2001).

As ligas de níquel possuem uma composição química com elevado teor de elementos de liga os quais são responsáveis por suas propriedades mecânicas e térmicas, porém estas características dificultam demasiadamente sua usinagem, levando a ocorrência alguns problemas durante o processo (Silva et. al., 2001).

Indústrias que fabricam componentes de motores com ligas de níquel e também de aços inoxidáveis especiais (válvulas automotivas), ligas de titânio (turbinas aeronáuticas), caracterizam-se por apresentarem um custo elevado na fabricação das peças usinadas, principalmente em relação ao custo hora/máquina, por este motivo é interessante diminuir os tempos de usinagem das peças e aumentar o uso efetivo das ferramentas, pois o custo/hora nestas indústrias é mais elevado do que nas indústrias convencionais (López De Lacalle et al. 1998).

Ligas a base de níquel constituem torno de 45 a 50 % do total do material usado na fabricação de um motor aeronáutico, devido sua excepcional resistência à fadiga e a oxidação, em alta temperatura, acima de (550 °C). As ligas a base de níquel são manufaturadas de forjados (barras, chapas, grandes forjados) e fundidos. A quantidade de ligas a base de níquel forjado atualmente, foram desenvolvidas com 80 % de níquel e 20 % de cromo. Sua primeira aplicação, além das resistências elétricas, foi em paletas de turbinas, no início dos anos 40, por sua admirável resistência a oxidação e resistência mecânica. Essas características da liga a base de níquel, foram melhoradas consideravelmente,

pela adição de uma pequena quantidade de titânio e alumínio em sua composição. A primeira liga a base de níquel nesta concepção foi a Nimonic 80, a qual foi posteriormente modificada para a Nimonic 80A. Mais tarde foi estabelecido que com a adição de 20 % de cobalto resultaria em uma liga, a Nimonic 90, a qual suporta em torno de 50 °C a mais em temperatura que a Nimonic 80A.

Com o crescimento das demandas solicitadas nos projetos de turbinas mais eficientes em altas temperaturas, foram aumentadas na composição da Nimonic 90, as quantidades de titânio e alumínio, e com o acréscimo do molibidênio, a liga foi conduzida para o desenvolvimento das Nimonic 105, 115 etc. Waspaloy e M-252 são duas importantes ligas a base de níquel forjadas, as quais foram desenvolvidas, respectivamente pela Pratt and Whitney e General Electric Company no fim dos anos 40 (Ezugwu et al., 2003).

No torneamento, na zona de contato entre a ferramenta e a peça, criam-se elevadas pressões e temperaturas. Na usinagem de ligas resistentes a altas temperaturas, devido à sua reduzida condutibilidade térmica, a condução de calor para o cavaco ocorre em pequena escala (Witting, 2002).

Dessa forma essas ligas só podem ser usinadas com velocidades reduzidas, sendo que sua usinagem é dificultada pelo encruamento e formação de aresta postiça de corte. Além disso, devem ser consideradas a elevada tenacidade do material e a formação desordenada de cavacos em forma de fita e espirais.

Assim sendo, de acordo com Ezugwu et al. (2003), as principais dificuldades encontradas na usinagem destas ligas, podem ser resumidas como:

- Elevada resistência e dureza à quente, causando deformação na ferramenta durante a usinagem;
- A matriz austenítica da liga de níquel promove um rápido endurecimento, fator de maiores causas do desgaste severo da ferramenta, sofrida durante o processo;
- Presença de carbeto duros e abrasivos na microestrutura destas ligas, levam a excessivos desgastes por abrasão, podendo levar a ferramenta à falha prematura;
- A baixa condutividade térmica destas ligas leva à concentração da temperatura de corte aproximadamente 1000 °C na ferramenta, causando elevados gradientes térmicos; e
- A soldabilidade do material da peça na aresta de corte da ferramenta, forma uma aresta postiça de corte, comprometendo a integridade superficial da peça, assim como a ferramenta de corte.

Os principais objetivos do presente trabalho foram o estudo do comportamento em usinagem, especificamente o torneamento de uma liga a base de níquel, o Nimonic 80A; compreendendo o estudo da relação entre rugosidade (Ra/Ry) e comprimento de corte (L_c), desgaste de flanco (VB) e comprimento de corte, assim como o volume de cavaco removido com relação aos parâmetros de corte; além disso, tanto o cavaco removido durante o processo de usinagem quanto o aspecto do desgaste das ferramentas também foram avaliados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram de torneamento externo, realizados em um torno CNC CENTUR 30S, 25 a 3500 rpm, com potência de 10 KW, marca ROMI. Foi utilizada uma pastilha de metal duro TNMG 160408-23 Classe H10A (ISO S15) e um suporte, PTGNR 2020 K16 (Sandvik).

Por meio de microscopia óptica (microscópio Epiphot 200, Nikon) foi possível observar os aspectos da ferramenta de corte para cada condição avaliada. Quanto as fotografias digitais dos cavacos, estas foram feitas por meio da câmera digital Sony Cyber-shot 5.1 MP, com lentes Carl Zeiss. Todos os equipamentos adicionais empregados pertencem ao Departamento de Materiais e Tecnologia, Faculdade de Engenharia da UNESP - Campus de Guaratinguetá.

O desempenho da ferramenta de corte foi considerado em termos de: v_c , f , a_p e acabamento superficial. O critério escolhido de fim de vida da ferramenta, foi o desgaste de flanco (VB_{max}) igual a 0,6mm.

A metodologia utilizada nos ensaios possibilitou o estudo do comportamento das ferramentas com relação à progressão do desgaste (VB) em função do comprimento de corte (L_c). O avanço (f) foi o principal parâmetro a ser variado durante os testes, além da profundidade de usinagem (Faria, 2007).

Com relação às variações da rugosidade média (Ra); estas foram analisadas em função do comprimento de corte (L_c). O valor de *cut-off* utilizado foi de 0,8mm, a cada passe realizado sobre o corpo de prova, mediu-se a rugosidade da superfície para o comprimento de corte alcançado no passe. Foram feitas três medidas em torno do corpo de prova, dispostas a um ângulo de 120°.

Para o cálculo do comprimento de corte foi utilizada a Eq. (1).

$$L_c = \frac{L_f \cdot \pi \cdot D}{f \cdot 1000} [m] \quad (1)$$

Onde, L_f corresponde ao comprimento de avanço da operação, igual a 185 mm, D é o diâmetro obtido no passe em questão (em mm) e f o avanço utilizado (mm/v.).

Para a taxa de remoção de material (Q) foi utilizada a Eq. (2), de acordo com Sandvik (2002);

$$Q = v_c \cdot a_p \cdot f [cm^3] \quad (2)$$

O volume total removido de material (Vol.) será obtido pela Eq. (3).

$$Vol = Q \cdot t_c [cm^3] \quad (3)$$

Onde, t_c é tempo de corte, calculado pela Eq. (4).

$$t_c = \frac{L_f \cdot \pi \cdot D}{f \cdot v_c} [\text{min}] \quad (4)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura (1), para velocidade de corte (90 m/min) e profundidade de usinagem (0,8 mm) constantes, variando-se o avanço (0,12 a 0,18 mm/v.), pode-se observar que a ferramenta com avanço $f = 0,12$ mm/v., obteve-se uma maior vida, com relação a um $VB = 0,6$ mm em termos de comprimento de corte, do que as ferramentas com avanços $f = 0,15$ mm/v. e $f = 0,18$ mm/v.. Dessa forma, para um avanço de 0,12 mm/v. o comprimento de corte foi equivalente a 390 m, superior aos avanços $f = 0,15$ mm/v. e $f = 0,18$ mm/v., com $L_c = 220$ m e $L_c = 135$ m, respectivamente.

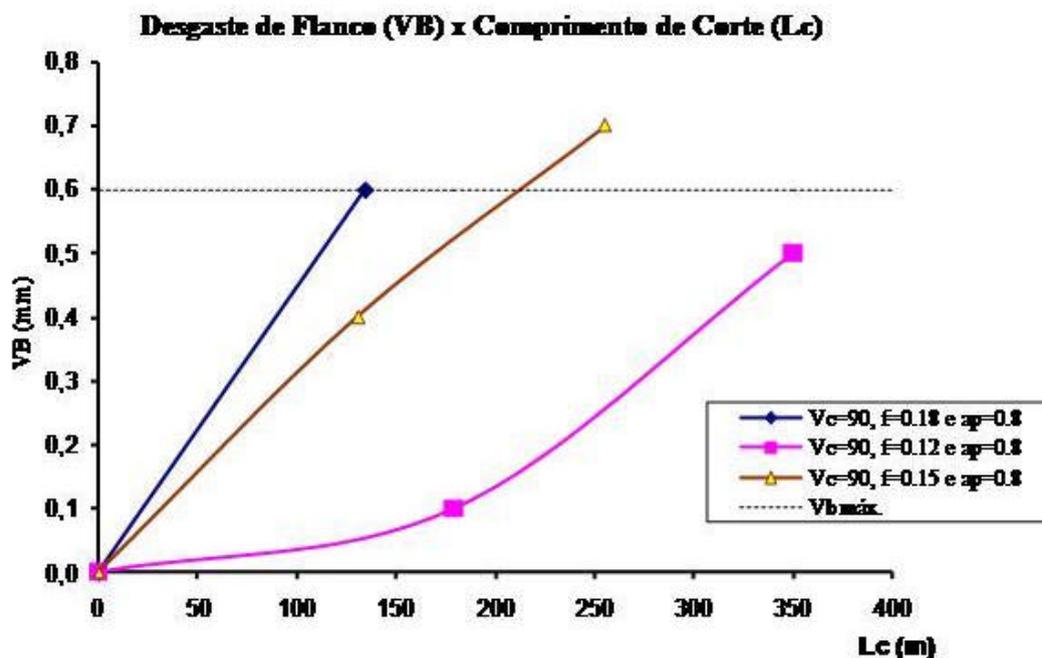


Figura 1. Desgaste de flanco (VB) em função do comprimento de corte (L_c), com $f=0,12; 0,15$ e $0,18$ mm/v. ($v_c=90$ m/min e $a_p=0,8$ mm).

Quanto ao comportamento da vida da ferramenta em relação ao avanço, este se apresentou de uma forma não tão convencional quanto se podia esperar, possivelmente a alta abrasividade do Nimonic 80A suplantou até mesmo uma possível diminuição da pressão específica de corte prevista, que possibilitaria uma maior facilidade em se usinar com maiores avanços, acarretando assim em uma melhoria nos valores de comprimento de corte obtidos.

O aspecto do desgaste de flanco (VB) das ferramentas após torneamento para os avanços avaliados pode ser observado na Fig. (2). Através das imagens observa-se que, apesar do comprimento de corte ser maior para $f = 0,12$ mm/volta, o mecanismo de desgaste das ferramentas foi o mesmo para todos os avanços (abrasão), além da presença constante da craterização na superfície de saída das ferramentas.

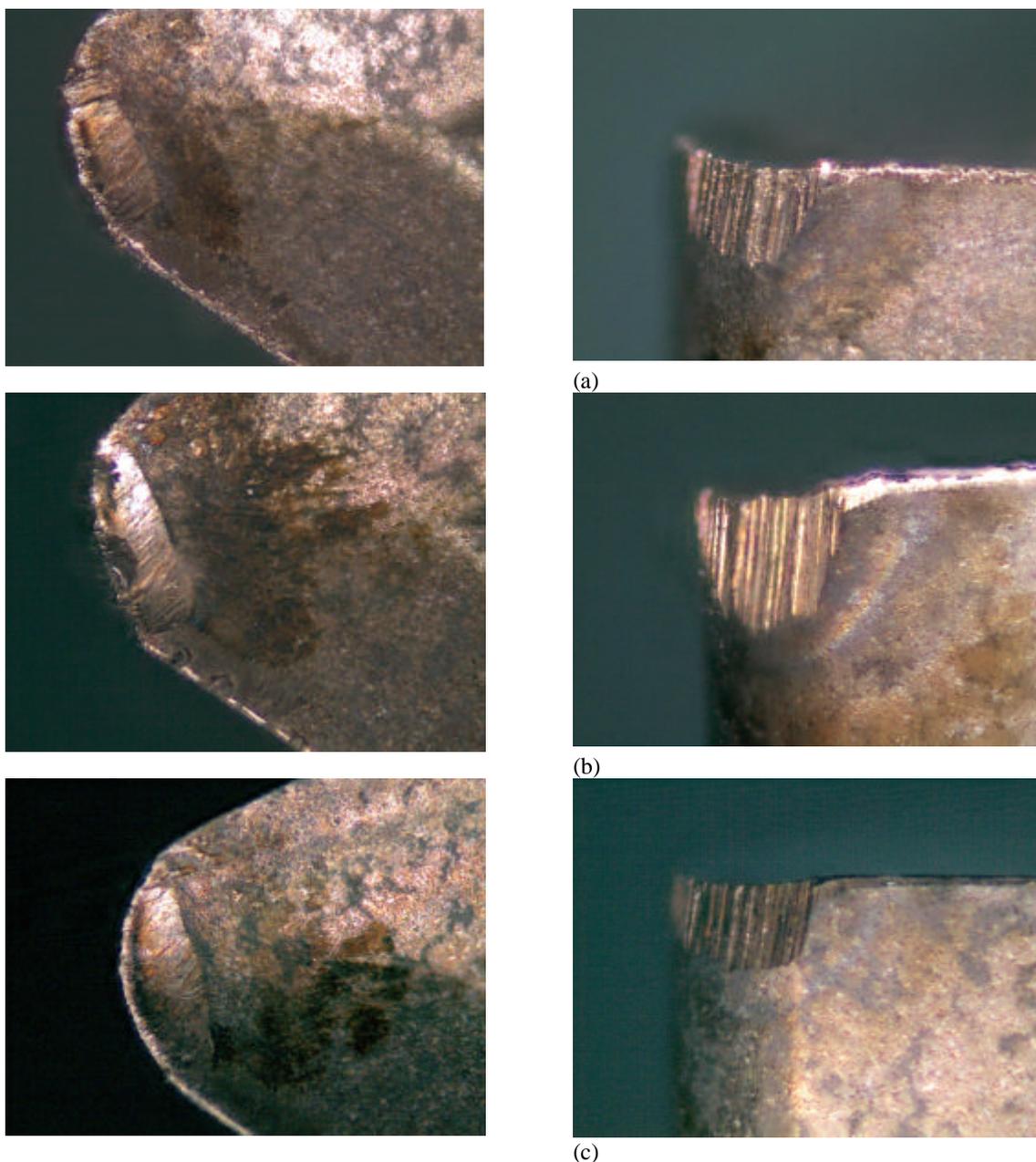


Figura 2. Aspecto das ferramentas e desgastes de flanco: (a) $f=0,12$ mm/v., (b) $f=0,15$ mm/v. e (c) $f=0,18$ mm/v.

Para os ensaios utilizando a $v_c = 90$ m/min, uma tendência foi observada, ou seja, quanto mais se aumenta o avanço no teste, menores são os valores para a vida da ferramenta em termos do comprimento de corte, conforme pode ser observado na Fig. (1).

Para a velocidade de corte (90 m/min) e avanço (0,18 mm/v.) constantes, variando-se a profundidade de usinagem (0,8 e 1,6 mm), pode-se observar na Fig. (3), que a ferramenta com profundidade de usinagem $a_p = 0,8$ mm, obteve maior vida, com relação a comprimento de corte (L_c), do que a ferramenta com profundidade de usinagem $a_p = 1,6$ mm. Apesar do valor da profundidade de usinagem ser duas vezes superior, a diferença entre os comprimentos de corte, não seguiu essa proporção, obtendo-se valores de L_c de 134 m e 94 m, para $a_p = 0,8$ mm e 0,16 mm, respectivamente.

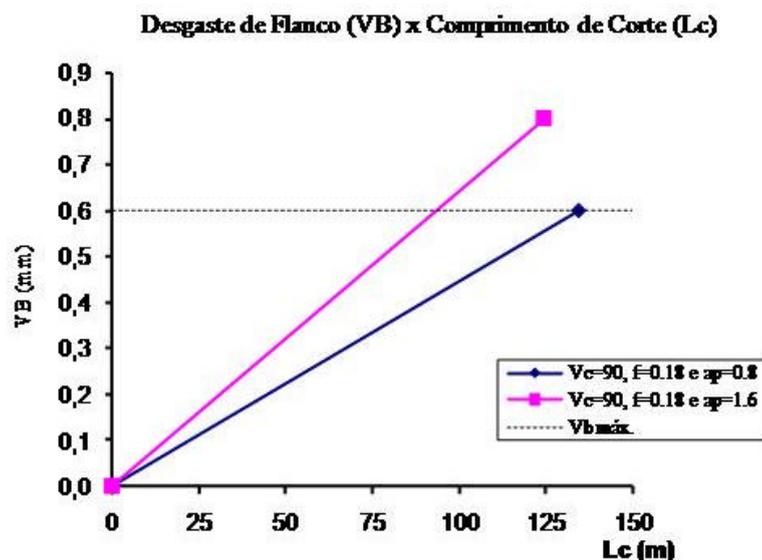


Figura 3. Desgaste de flanco (VB) em função do comprimento de corte (L_C), com a_p=0,8 e 1,6 mm (v_c=90m/min e f=0,18mm/v.).

Quanto ao aspecto do desgaste de flanco (VB) da ferramenta ensaiada para a profundidade de usinagem de 1,6 mm) e avanço de 0,18 mm/v., observa-se na Fig. (4), que o aspecto do desgaste da ferramenta foi o mesmo das situações anteriores, o mecanismo de desgaste por abrasão foi predominante, em função da agressividade com que a peça interage com a ferramenta. É digna de nota, a marcante craterização da superfície de saída desta ferramenta, resultado do contato cavaco/ferramenta. Para esta condição o VB final medido foi de 0,8 mm.

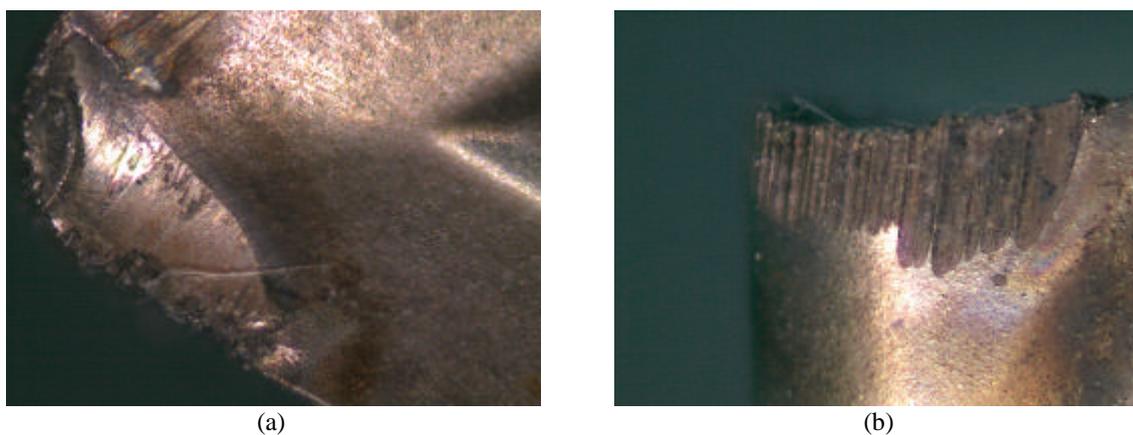


Figura 4. Aspecto das ferramentas com os desgastes de flanco, VB= 0,8 mm, com v_c=90 m/min, f=0,18 mm/v. e a_p=1,6 mm: (a) superfície de saída e (b) superfície de folga.

Na situação de variação de avanço para a v_c = 90 m/min e a_p = 0,8 mm, Fig. (5), quando se variou o avanço de 0,12 para 0,15 mm/v., a taxa de remoção aumentou 25 %, porém o volume efetivo de remoção de cavaco diminuiu 31 %. Quando o avanço passou de 0,15 para 0,18 mm/v. a taxa de remoção aumentou 20 %, já o volume removido diminuiu 23 %. Isto vem a significar uma resposta um pouco diferente do que se espera, pois ao aumentar o avanço se tem um aumento direto na taxa de remoção que se esperava refletir de certa forma no volume removido total.

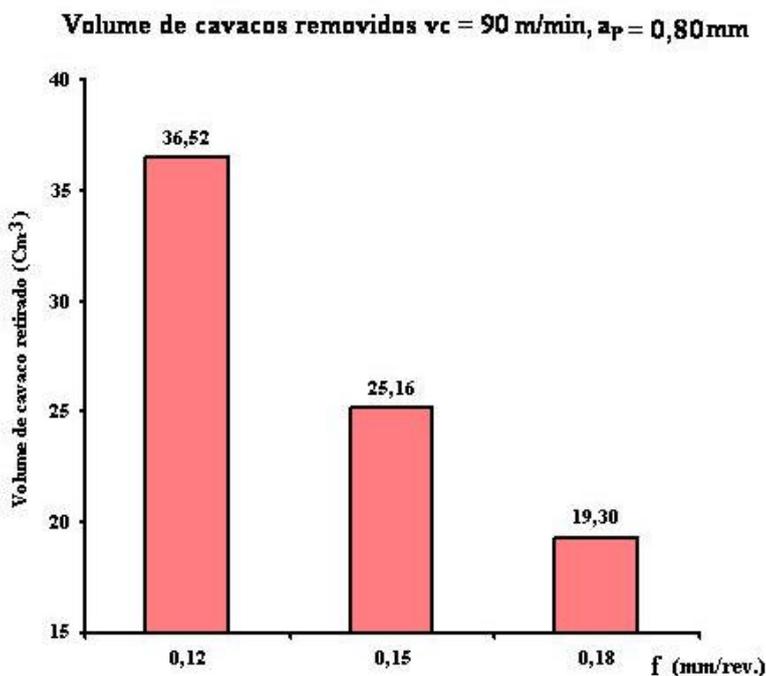


Figura 5. Histograma relacionando volume de cavaco removido com o avanço.

Finalizando é possível observar que, com a velocidade de corte de 90 m/min, avanço de 0,12 mm/v., um maior volume de cavaco foi obtido, em relação aos demais avanços utilizados. Dessa forma, observa-se que uma maior retirada de cavaco ocorreu para a situação na qual o maior comprimento de corte foi obtido, a despeito de existirem taxas de remoção muito maiores, porém a utilização destes parâmetros de usinagem não propiciou que se alcançasse um desempenho superior ao conjunto citado.

De acordo com a Fig. (6), no caso do aumento da profundidade de usinagem (0,8 para 1,6 mm) para o mesmo avanço e mesma velocidade de corte (0,18 mm/v. e 90 m/min, respectivamente), o valor da taxa de remoção dobrou e o volume e cavaco removido obtido foi somente 38 % maior para um valor de VB calculado em função de um valor estimado para o comprimento de corte correspondente para o valor de VB = 0,6 mm, através do gráfico da Fig. (3), obtendo-se assim para a condição de $a_p = 1,6$ mm, um volume de cavaco removido de 35,77 cm³.

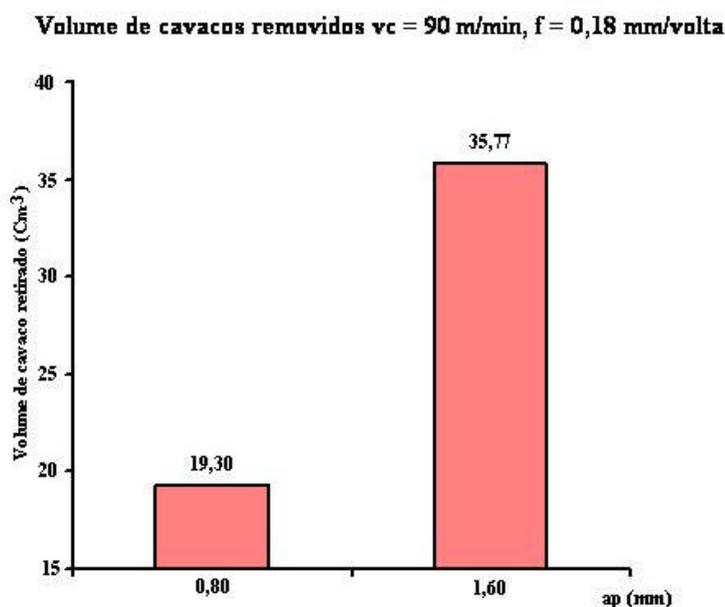


Figura 6. Histograma relacionando volume de cavaco removido com a profundidade de usinagem.

A seguir serão apresentadas as fotografias digitais dos cavacos obtidos durante os testes para os conjuntos de parâmetros utilizados. Para os três avanços testados na $v_c=90$ m/min (0,12; 0,15 e 0,18 mm/v.) observa-se nos cavacos

obtidos, uma transição da forma de fita para a helicoidal, Fig. (7), porém quando da variação da profundidade de usinagem de 0,8 para 1,6 mm, a forma do cavaco foi alterada passando a ser nitidamente helicoidal (longo).

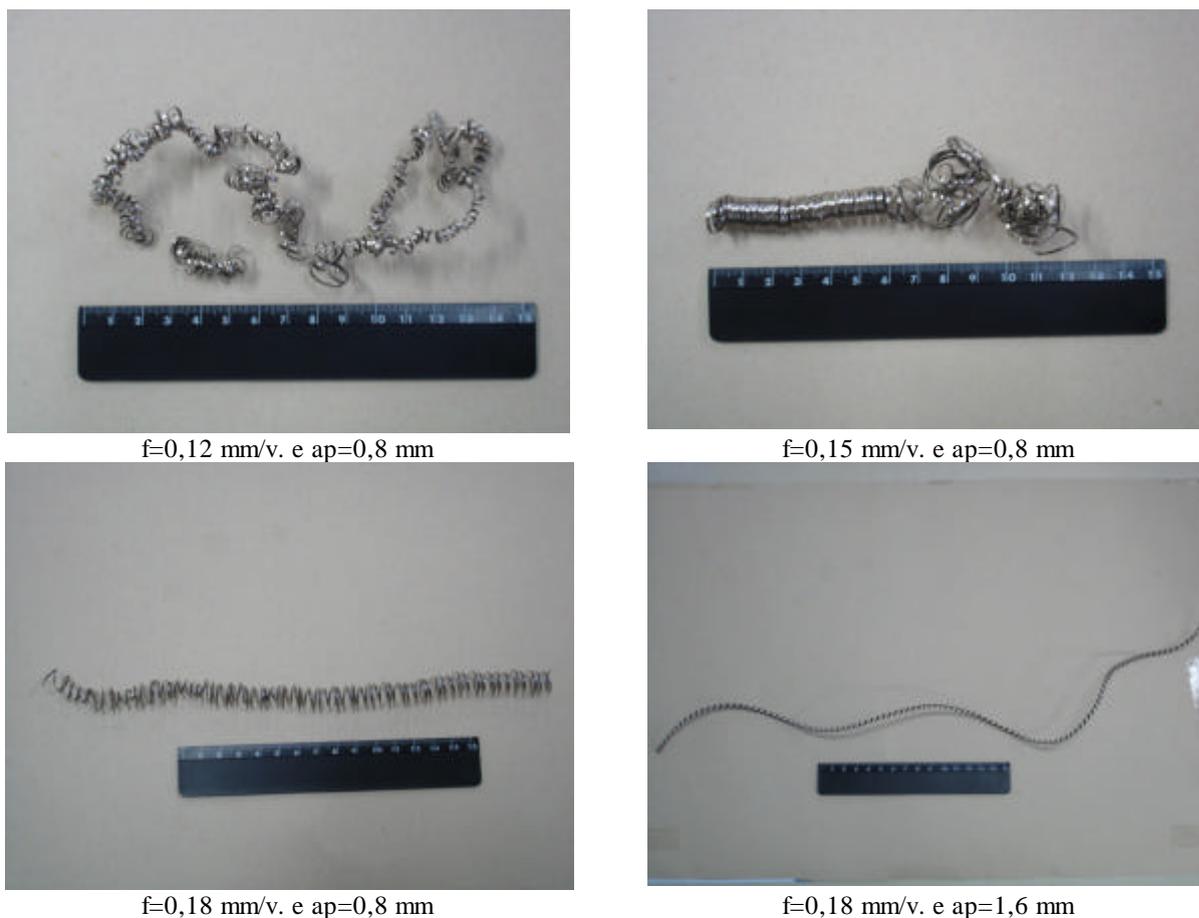


Figura 7. Cavacos obtidos nos ensaios com $vc=90$ m/min.

Relacionando-se os resultados obtidos de todos os testes envolvendo a variação do avanço, se evidencia que os melhores índices para o torneamento do Nimonic 80A com ferramenta de metal duro sem cobertura na presença de fluido de corte, com velocidade de corte de 90 m/min, e profundidade de usinagem de 0,8 mm foram alcançados para o avanço de 0,12 mm/v. em relação ao comprimento usinado e o volume removido em detrimento dos cavacos formados.

4. CONCLUSÕES

A correlação entre a vida da ferramenta e o avanço se diferenciou do convencional, ou seja, aumentando o avanço ocorre uma diminuição na vida da ferramenta, possivelmente em função da alta abrasividade da liga.

Sobre os desgastes observados, cabe mencionar que em todos os casos houve craterização acentuada da superfície de saída das ferramentas, assim como marcas típicas de desgaste abrasivo na superfície de folga das mesmas.

Quanto aos cavacos formados, para o conjunto de parâmetros utilizados, houve uma predominância de cavacos em fita, demonstrando a dificuldade na quebra do cavaco, que passaram para helicoidal longo com o aumento da profundidade de usinagem.

Em relação à remoção de cavacos, embora tivessem sido usadas taxas de remoção muito maiores (avanços maiores), porém a utilização destes parâmetros não propiciou que se alcançasse um desempenho superior ao avanço que já havia apresentado o melhor comprimento de corte.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundunesp, Fapesp, IFM2 (CNPq), Sandvik e Villares Metals.

6. REFERÊNCIAS

Ezugwu, E. O.; Bonney, J.; Yamane, Y., 2003, "An overview of the machinability of aeroengine alloys", *Jornal of Materials Processing Technology*, Vol. 134, No 2, pp. 233–253.

- Ezugwu, E. O.; Wang, Z. M.; Machado A. R., 1999, "The machinability of nickel-based alloys: a review", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 86, No 1, pp. 1-16.
- Faria, J. C., 2007, "Estudo da usinagem em torneamento da superliga a base de níquel Nimonic 80A", Dissertação, Faculdade de Engenharia - UNESP, Guaratinguetá.
- López de Lacalle, L.N., Llorente, J.I., Sánchez, J.A., 1998, "Improving the cutting Parameters the machining of Nickel and Titanium alloys", in Annals of the CIRP, Vol.47, cd-rom.
- Sandvik – Coromant, 2002, "Ferramentas para torneamento", Catálogo C-1000:8.
- Silva, L. R. et al., 2001, "Estudo da geometria de corte para torneamento de Inconel", Máquinas e Metais, Vol. 37, No 427, pp 37-55.
- Witting, H., 2002, "Torneamento de superligas", Máquinas e Metais, Vol. 38, No 440, pp 156-165.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

STUDY OF NIMONIC 80A MACHINING

José Carlos de Faria, faria207@bol.com.br
Elias Alves da Cunha, eliasac@zipmail.com
Bruno de Novaes Friguetto, mcn06052@feg.unesp.br
Marcos Valério Ribeiro, mvalerio@feg.unesp.br

Laboratory of Machining Study São Paulo State University – UNESP - Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333 CEP 12516-410 – Guaratinguetá/SP – Brazil

Abstract. *The nickel based alloys have an extremely important role in the automobile industry, aeronautics, navy, in the gas turbines production. Its vast use in these areas is due mainly to its performance in high temperatures, that it is given by some of its intrinsic characteristics, as: high mechanical resistance in high temperature, high resistance to the creep stress, high resistance to the fatigue and great resistance to the corrosion. The nickel alloys have a chemical composition with high tenor of alloy elements which are responsible for your mechanical and thermal properties, however these characteristics hinder your too much machining, taking the occurrence of some problems during the process. The objective of this work is the study of the machining by external cylindrical turning of the nickel based alloy Nimonic 80A, seeking the machining optimization of this alloy looking for to provide real increases of productivity without the need of investments in new production means. Besides, the results of this work should offer more detailed information regarding the behavior of this alloy in relation to machining by turning. The machining experiences were accomplished in a specimen of the nickel alloy, considering the machining parameters: cutting speed (90 m/min), cutting depth (0,8 and 1,6 mm) and feed rate (0,12; 0,15 and 0,18 mm/rev). The valuations were accomplished in a CNC lathe and cemented carbide tools. After each stage of the turning the measures of the cutting length were accomplished, of the tool wear through a magnifying glass (8x). Through light optical microscopy it was possible to observe the tool wear for each appraised condition. Aided by microscopy was observed that, in spite of the great variation of the cutting length for the several tests, the predominant mechanism of tool wear was always the same (abrasion in the flank face).*

Keywords: *Machining, Nimonic, Wear, Valves.*